



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 198 41 755 A 1**

⑤1 Int. Cl.7:
G 01 J 3/44
G 01 M 11/02
H 04 B 10/08

②1 Aktenzeichen: 198 41 755.1
②2 Anmeldetag: 11. 9. 1998
④3 Offenlegungstag: 23. 3. 2000

DE 198 41 755 A 1

⑦1 Anmelder:
Siemens AG, 80333 München, DE

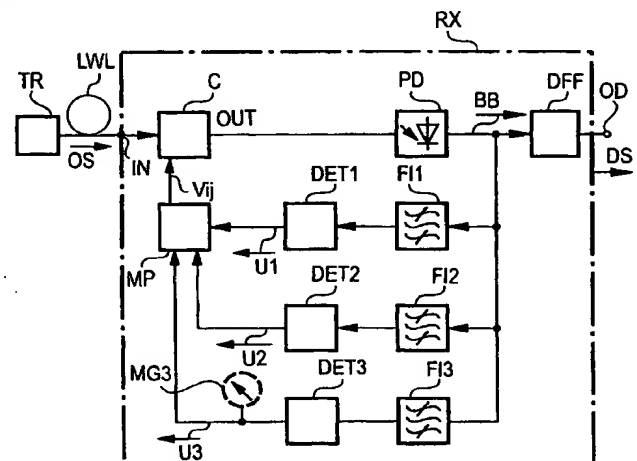
⑦2 Erfinder:
Noe, Reinhold, Dr., Prof., 33100 Paderborn, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmodendispersion

⑤7 Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmodendispersion eines optischen Datensignals (OS), die mindestens zwei Filter (FI1, FI2) aufweist, denen jeweils ein Leistungsmesser (DET1, DET2) nachgeschaltet ist. Durch die Kombination von großem Monotonizitätsbereich und großer Steilheit bei der Verwendung von mehreren Filtern kann eine bessere Kompensation erfolgen.



DE 198 41 755 A 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmodendispersion eines optischen Datensignals gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruches 1.

In der optischen Übertragungstechnik werden lange Lichtwellenleiter-Übertragungsstrecken eingesetzt. Die Lichtwellenleiter sind herstellungsbedingt nicht vollständig isotrop, sondern schwach doppelbrechend. Wegen der langen Übertragungsstrecke ergibt sich eine frequenzabhängige Polarisationstransformation – Polarisationsmodendispersion oder Polarisationsdispersion genannt, abgekürzt PMD. Diese führt durch Änderung der Polarisation des optischen Signals als Funktion der optischen Frequenz und – verbunden damit – unterschiedlichen frequenzabhängigen Laufzeiten zur Verbreiterung gesendeter Impulse, wodurch empfangsseitig deren Erkennbarkeit reduziert und dadurch die übertragene Datenrate begrenzt wird.

Erschwerend kommt hinzu, daß sich durch Temperaturänderung oder mechanische Beanspruchung das Übertragungsverhalten der Strecke und somit auch die PMD ändert. Deshalb werden adaptive PMD-Kompensatoren eingesetzt, die in den Übertragungspfad eingefügt werden. Zu deren Ansteuerung müssen im optischen Empfänger PMD-Verzerrungen detektiert werden. Der Kompensator läßt sich dann beispielsweise mit einem Gradientenalgorithmus optimal einstellen.

In Electronic Letters 17. Februar 1994, Band 30, Nr. 4, Seite 348 bis 349 wird ein Bandpaßfilter zur Filterung eines Datensignals eingesetzt, dessen PMD zu detektieren ist. Ein Leistungsdetektor am Filterausgang liefert ein Signal, das desto höher ist, je geringer die PMD-Verzerrungen sind.

Nachteilig ist, daß bei Vorliegen großer PMD erster Ordnung sich dieses Signal als Funktion der differentiellen Gruppenlaufzeit DGD (Differential Group Delay) nicht monoton verändert und daher keine eindeutigen Signale zu gewinnen sind.

In Proceedings OEC' 94, 14e-12, Seiten 258 bis 259, Makuhari Messe, Japan 1994 wird ein anderes Verfahren verwendet, bei dem die Leistung des Differenzsignals zwischen Entscheiderausgang und Entscheidereingang ausgewertet wird. Dieses Signal besitzt aber eine geringere Empfindlichkeit für PMD-Verzerrungen als ein geeignetes Bandfilter. Insbesondere bei starken PMD-Verzerrungen, in denen die DGD die Bitdauer überschreitet, kann es außerdem zu falschen Entscheidungen kommen, so daß das gewonnene Signal in solchen Fällen ein ungeeignetes Kriterium für das Vorliegen von PMD-Verzerrungen ist.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, einen zuverlässigen Detektor auch für größere Werte der differentiellen Gruppenlaufzeit anzugeben. Ferner ist eine geeignete Anordnung zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion und auch zur optimalen Einstellung dieses Detektors anzugeben.

Die Aufgabe wird durch eine Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmodendispersion gemäß Anspruch 1 gelöst.

In dem unabhängigen Anspruch 7 ist eine Variante dieser Lösung beschrieben.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

Der besondere Vorteil der Erfindung liegt in der Kombination von in den genutzten Hauptbereichen monoton verlaufenden Ausgangsspannungen mehrerer Filter und deren großer Steilheit, was mit einem einzigen Bandpaßfilter oder einem einzigen Tiefpaßfilter nicht möglich ist. Hierdurch wird eine wesentlich genauere Kompensation möglich.

Die Verwendung von Bandpaßfiltern hat gegenüber der

Verwendung von Tiefpässen den Vorteil größerer Steilheit der Filter-Ausgangsspannungen als Funktion vorliegender differentieller Gruppenlaufzeit. Hierdurch kann eine noch genauere/schnellere Kompensation durchgeführt werden.

Anstelle von mehreren Bandpaßfiltern/Tiefpässen kann auch ein umschaltbares/steuerbares Bandpaßfilter oder ein umschaltbarer/steuerbarer Tiefpaß verwendet werden.

Die Detektionseinrichtung kann durch weitere Steuerkriterien ergänzt werden. Besonders vorteilhaft sind hierbei Einrichtungen, die – gewollt erzeugte – Fehlerraten eines Datenhilfssignals auswerten, das aus dem empfangenen optischen Signal gewonnen wird. Eine besonders einfache Schaltung kann durch eine steuerbare Abtastschwelle bei der Auswertung des Datensignals realisiert werden.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden anhand von Figuren beschrieben.

Es zeigen:

Fig. 1 den normierten Verlauf der Filterausgangsspannungen,

Fig. 2 ein Ausführungsbeispiel der Erfindung mit drei Bandpässen

Fig. 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel mit einem steuerbaren Bandpaß,

Fig. 4 ein weiteres Ausführungsbeispiel mit zusätzlicher Auswertung eines Datenhilfssignals und

Fig. 5 ein weitere Variante dieses Ausführungsbeispiels.

Fig. 1 zeigt den genormten Verlauf der Filterausgangsspannungen U_1 bis U_3 von drei Bandpaßfiltern, deren Mittenfrequenz $0,125/T$, $0,25/T$ und $0,5/T$ betragen, wobei T die Bitdauer des übertragenen Datensignals ist. Außerdem ist die Ausgangsspannung $U(LPF)$ eines Tiefpaßfilters mit der Grenzfrequenz $0,125/T$ in Abhängigkeit von der genormten differentiellen Gruppenlaufzeit DGD/T bei gleich starker Anregung beider Hauptpolarisationen aufgetragen. (Als Hauptpolarisationen oder "principal states-of-polarization", im folgenden als PSP bezeichnet, werden diejenigen beiden zueinander orthogonalen Polarisationen genannt, die sich bei Änderung der optischen Frequenz in erster Näherung nicht ändern. In polarisationserhaltenden Lichtwellenleitern fallen die Hauptpolarisationen mit den Hauptachsen zusammen, sind also horizontal und vertikal. Im allgemeinen sind die Hauptpolarisationen aber beliebige orthogonale Paare elliptischer Polarisationen. Die Hauptpolarisationen besitzen verschiedene Gruppenlaufzeiten, deren Differenz als "differential group delay", im folgenden DGD oder differentielle Gruppenlaufzeit, bezeichnet wird. Wird ein optisches Signal mit einer Hauptpolarisation übertragen, so findet in Näherung erster Ordnung keine Impulsverbreiterung statt. Wird es mit einer Polarisierung übertragen, die bei Aufteilung nach den beiden Hauptpolarisationen dort gleichen Leistungsanteilen entspricht, kommt es zu maximaler Impulsverbreiterung, weil zwei gleich starke Impulse mit Laufzeitunterschieden der Größe DGD überlagert werden.)

Ändern sich die Hauptpolarisationen als Funktion der optischen Frequenz, so wird bei eingangsseitiger Verwendung einer Hauptpolarisation, die einer bestimmten Frequenz entspricht, die Ausgangspolarisation als Funktion der Frequenz aber trotzdem ändern, aber eben erst in höherer als erster Ordnung. Dies bezeichnet man als PMD höherer Ordnung. Im allgemeinen tritt PMD höherer Ordnung auf, wobei aber PMD erster Ordnung durch seine Auswirkungen dominiert und deshalb bevorzugt kompensiert werden muß.)

Wie ersichtlich, ermöglicht das Ausgangssignal U_3 eine fehlerfreie Detektion der PMD nur bis zu einem Wert der DGD von $1/T$, denn für Werte zwischen $1/T$ und $2/T$ ändert die Steigung der Funktion das Vorzeichen. Entsprechendes gilt für die Ausgangsspannungen der anderen Bandpaßfilter und in geringerem Maß auch für die des Tiefpaßfilters.

In Fig. 2 ist die Verwendung der Einrichtung zum Detektieren von PMD in einem Kompensator dargestellt. Ein optischer Sender TP sendet ein optisches Signal OS über einen Lichtwellenleiter LWL zu einem optischen Empfänger RX. Dieser besitzt eine Fotodiode PD um Umsetzung des optischen Signals in ein elektrisches Signal. Ein nachgeschalteter Entscheider DFF gibt am Ausgang OD das übertragene Datensignal DS ab.

Der Fotodiode ist ein Polarisationsmodentransformator C zur Kompensation der Polarisationsmodendispersion vorgeschaltet, dessen Eingang IN mit dem Empfängereingang identisch ist.

Das Regelkriterium für den Polarisationsmodentransformator c wird aus dem von der Fotodiode abgegebenen Basisbandsignal BB gewonnen. Dieses wird mehreren Filtern FE1 bis FE3 zugeführt, deren Ausgängen jeweils ein Leistungsmesser DET1 bis DET3 nachgeschaltet ist. Durch Glättungskondensatoren oder ähnliche Einrichtungen besitzen diese Leistungsmesser auch eine Glättungs- oder Tiefpaßfunktion. Die Bandpaßfilter weisen vorteilhafterweise Mittenfrequenzen von $0,125/T$, $0,25/T$ und $0,5/T$ auf. Die Bandbreiten betragen etwa das 0,0001-fache bis 0,2-fache der jeweiligen Mittenfrequenz. Bei geringer Bandbreite eines Bandpaßfilters kann im Zuge der Leistungsmessung in den Leistungsmessern DET1 bis DET3 auf Glättung weitgehend verzichtet werden.

Einzelheiten wie Verstärker sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt.

Um die Einstellung des Kompensators anschaulich zu erklären, wird am besten das anfängliche Vorliegen einer großen differentiellen Gruppenlaufzeit vorausgesetzt. Zunächst wird die Ausgangsspannung U1 des Bandpaßfilters FT1 (die durch den Leistungsmesser gemessen wird) mit der niedrigsten Mittenfrequenz $0,125/T$ von einem als Regler MP verwendeten Mikroprozessor (mit A/D- und D/A-Wandler) zur Optimierung der Kompensatoreinstellung verwendet. Sobald dieses Signal eine (in der Figur obere) Schwelle SO überschreitet, wird zur Optimierung das Ausgangssignal des Bandpaßfilters FT2 mit der nächsthöheren Mittenfrequenz $0,25/T$ verwendet. Wenn auch dieses ein starkes Ausgangssignal liefert, das die Schwelle (oder eine entsprechend der Ausführungsform gewählte andere Schwelle) überschreitet, wird auf das Bandpaßfilter mit der höchsten Mittenfrequenz $0,5/T$ umgeschaltet. Dieses besitzt zwar den geringsten Monotonitätsbereich des Ausgangssignals, aber durch die Mitbewertung der Ausgangssignale der anderen Bandpaßfilter ist sichergestellt, daß es Ausgangssignale im ersten Monotonizitätsbereich $0 \leq DGD \leq T$ liefert. Deshalb kann man seine hohe Empfindlichkeit zur Kompensation der PMD-Verzerrungen besonders vorteilhaft nutzen. Die genutzten Monotonizitätsbereiche sind als Hauptwerte durchgezogen in der Fig. 1 eingezeichnet.

Um eine optimale Bitfehlerquote zu erreichen, kann auch eine nichtlineare oder lineare Kombination der Bandpaßfilter-Ausgangssignale bzw. der Ausgangssignale der nachgeschalteten Leistungsdetektoren vorgenommen werden. Dazu verwendet man anstelle des als Funktion der Ausgangssignale der niederfrequenten Bandpaßfilter ausgewählten Filterausgangssignals einfach noch das oder die Ausgangssignale der niederfrequenten Signale mit: Sofern das Ausgangssignal von DET1 seine Schwelle nicht überschritten hat, wird nur dieses verwendet.

Ist die Schwelle überschritten, wird auch das Ausgangssignal von DET2 hinzugenommen. Ist schließlich auch dessen Schwelle überschritten, wird das Ausgangssignal von DET3 hinzugenommen.

Für Meßzwecke können an die Ausgänge der Detektoren DET1 bis DET3 Meßgeräte direkt angeschlossen werden, von

denen in Fig. 2 eines, MG3, dargestellt ist.

In Fig. 3 ist eine Variante der Detektionseinrichtung dargestellt, bei der die drei Bandpaßfilter durch ein einziges umschaltbares/steuerbares Bandpaßfilter FTU ersetzt sind. Die Vorgehensweise bei der Kompensation bleibt gleich. Der als Regler verwendete Mikroprozessor MP merkt sich jeweils die vorhergehenden Ausgangsspannungen, so daß eine Zuordnung der Hauptwerte (Monotoniebereiche) der Filter mit höheren Mittenfrequenzen eindeutig möglich ist. Die Einstellung des Filters erfolgt durch ein Steuersignal ST.

In Fig. 4 ist eine weitere Variante dargestellt, bei der ein zweiter Entscheider DFF2 verwendet wird, dem ebenfalls das Basisbandsignal BB zugeführt wird. In diesem Ausführungsbeispiel ist die Schwelle des Entscheiders über eine Einstelleinrichtung EG so weit verstellbar, daß dieser bereits ein fehlerbehaftetes Datenhilfssignal DH liefert, wenn der erste Entscheider DFF noch ein im wesentlichen fehlerfreies Datensignal DS abgibt. Die Ausgangssignale werden in einem Exklusiv-Oder-Gatter EXOR miteinander verglichen, und das so gewonnene Fehlersignal FS wird ebenfalls durch den Mikroprozessor MP zur Steuerung des Polarisationsmodentransformators c verwendet. Durch Verschiebung der Schwelle des zweiten Entscheiders wird ständig ein Maß dafür entwickelt, wie gut die Signalqualität im Hinblick auf eine erreichbare Bitfehlerquote ist. Je geringer die Fehlerquote des Datenhilfssignals bei einer Verschiebung der Schwelle aus dem Optimum ist, desto besser ist die Signalqualität. Im Groben werden eine maximale Ausgangsspannung des umschaltbaren/steuerbaren Filters FTU und eine minimale Fehlerrate übereinstimmen. Eine genauere Bewertung, die zu einer niedrigeren Bitfehlerquote des Entscheiders DFF führt, ergibt sich hingegen bei Verwendung des Fehlersignals FS. Da Abweichungen des Datenhilfssignals DH vom Datensignal DS aber stochastisch auftreten, ist eine relativ lange Meß- oder Mittelungszeit des Fehlersignals FS erforderlich, um einen besonders gutes Signal-Rausch-Verhältnis und damit eine optimale Kompensation zu gewinnen. Die mit Hilfe des zweiten Entscheiders gewonnene zusätzliche Information wird dazu eingesetzt, das Filter FTU zu optimieren, d. h. dessen Übertragungsfunktion zu verändern. Diese adaptive Betriebsform erscheint besonders günstig, um Exemplarstreuungen, Temperaturschwankungen, Auftreten nicht linearer Effekte usw. tolerierbar zu machen. Der große Vorteil dieser Ausführungsformen besteht darin, daß durch das Filterausgangssignal bereits eine rasche Kompensation möglich ist und für die Feineinstellung und die Einstellung der Übertragungsfunktion des Filters ausreichend Zeit zur Verfügung steht.

Insbesondere in Fällen, in denen es auf ein schnelles Einstellen des Polarisationsmodentransformators C nicht ankommt, ist aber auch die Verwendung nur eines Fehlersignals FS möglich, so daß in Fig. 4 das Filter FTU und der Leistungsdetektor DET1 entfallen könnten.

Bei der Verwendung von mehreren Bandpaßfilter, wie in Fig. 5 dargestellt, können die Übertragungsfunktionen der Filter oder die Gewichtungen der einzelnen Filterausgangssignale so verändert werden, daß die geringsten PMD-Verzerrungen auftreten. Da dies langsam erfolgen kann, während die Filterausgangssignale und ihre Kombination rasch zur Verfügung stehen, ergeben sich durch diese adaptive Betriebsform dieselben Vorteile wie im Ausführungsbeispiel der Fig. 4.

Prinzipiell kann die Steuerung des Polarisationsmodentransformators auch durch das Fehlersignal erfolgen.

1. Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmoden-
dispersion eines optischen Datensignals (OS) mit einem Filter (FI1), an dessen Ausgang ein Leistungsmesser (DET1) angeschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet**,
daß mindestens ein weiteres Filter (FI2, FI3) mit einem
nachgeschalteten Leistungsmesser (DET2, DET3) vorgesehen
ist und daß die Ausgangsspannungen (U1, U2, U3) der
Leistungsmesser (DET1, DET2, DET3) ausgewertet werden.
10
2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,
daß als Filter (FI1, FI2, FI3) Bandpaßfilter vorgesehen
sind.
3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,
daß nur die zwischen einer differentiellen Gruppenlaufzeit
(DGD) von minimal 0 bis maximal zum Vorzeichenwechsel
der Steigung liegenden Monotoniebereiche der Ausgangsspannungen
der Filter (FI1, FI2, FI3) bewertet werden.
15
4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,
daß bei einem unterhalb einer oberen Schwelle (SO)
liegendem Ausgangssignal (U1) des zum Filters (FI1)
mit der niedrigsten Mittenfrequenz dieses Ausgangssignals
(U1) allein bewertet wird,
und daß bei Überschreiten dieser Schwelle (SO) durch
das Ausgangssignal (U1) das Ausgangssignal (U2, U3)
Filters (FI2) mit der nächsthöheren Mittenfrequenz
allein oder zusätzlich bewertet wird und daß eine entsprechende
Bewertung für zusätzliche Filter (FI3) mit höheren
Mittelfrequenzen erfolgt.
20
5. Einrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,
daß die Mittenfrequenzen der Bandpaßfilter (FI3, FI2, FI1)
von einer etwa dem Halben der Bittaktfrequenz entsprechenden
Mittenfrequenz ausgehend in Zweierstufen geringer gewählt
sind.
25
6. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet,
daß drei Filter (FI1, FI2, FI3) vorgesehen sind.
30
7. Einrichtung zur Detektion von Polarisationsmoden-
dispersion eines optischen Datensignals (OS) mit einem
Filter (FIU), an dessen Ausgang ein Leistungsmesser
(DET1) angeschaltet ist, **dadurch gekennzeichnet**,
daß die Grenzfrequenz des Filters (FIU) oder Mitten-
frequenz des Bandpaßfilters umschaltbar oder einstellbar
ist und daß nur die zwischen einer differentiellen Gruppenlaufzeit
(DGD) von minimal 0 bis maximal zum Vorzeichenwechsel
der Steigung liegenden Monotoniebereiche der Ausgangsspannung
(U1) des des Filters (FIU) ausgewertet werden, wobei die bei
einer vorhergehenden Filterkonfiguration erhaltenen
Ausgangsspannungen mitberücksichtigt werden.
35
8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet,
daß das Bandpaßfilter (FIU) in drei Stufen umschaltbar
ist.
40
9. Einrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet, daß sie in einem optischen
Empfänger (RX) zur Steuerung eines Polarisationsmoden-
transformators (C) zur Kompensation der Polarisationsmoden-
dispersion vorgesehen ist.
45
10. Einrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet,
daß eine Meßanordnung (EG; DFF2, EXOR) zur Messung der
Bitfehlerrate bei einem absichtlich verschlechterten
Empfangssignal oder einem geänderten Schwellwert einer
zweiten Entscheiderstufe (DFF2) vorgesehen ist, deren
Fehlerrate (FS) über einen Regler (MP) zusätzlich den
Polarisationsmoden-
50

transformator (C) steuert.

11. Einrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet,
daß über den Regler (MP) außerdem die Übertragungsfunktion
der Filter (FIU; FI1, FI2, FI3) oder die Gewichtung der
Ausgangssignale (U1, U2, U3) ihrer Leistungsmesser (DET1,
DET2, DET3) gesteuert wird.

12. Einrichtung nach Anspruch 9, 10 oder 11, dadurch
gekennzeichnet, daß nur jeweils ein Hauptwert eines der
Filter (FI1, FI2, FI3) zur Steuerung des Polarisationsmoden-
transformators (C) vorgesehen ist

13. Einrichtung nach Anspruch 9, 10 oder 11, dadurch
gekennzeichnet, daß die Ausgangsspannungen mehrerer
oder aller Filter (FI1, FI2, FI3) bzw. die Ausgangsspannungen
(U1, U2, U3) ihrer Leistungsmesser (DET1, DET2, DET3)
innerhalb ausgewählter Bereiche zur Steuerung des
Polarisationsmodentransformators (C) vorgesehen sind.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

FIG 1

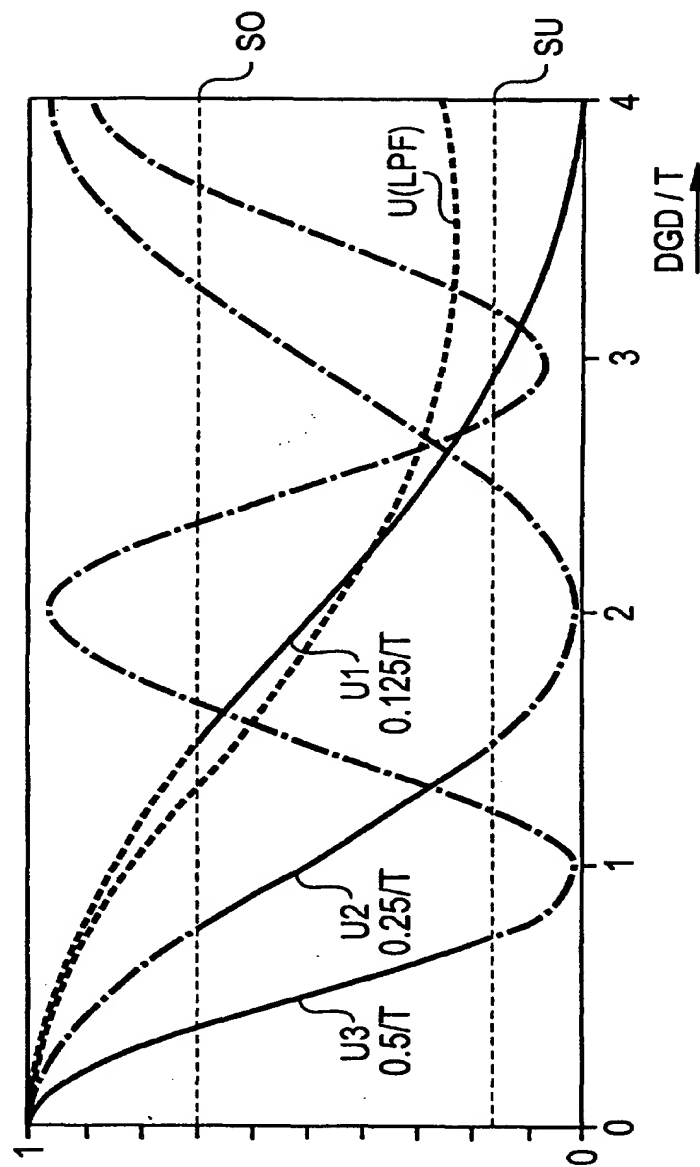


FIG 2

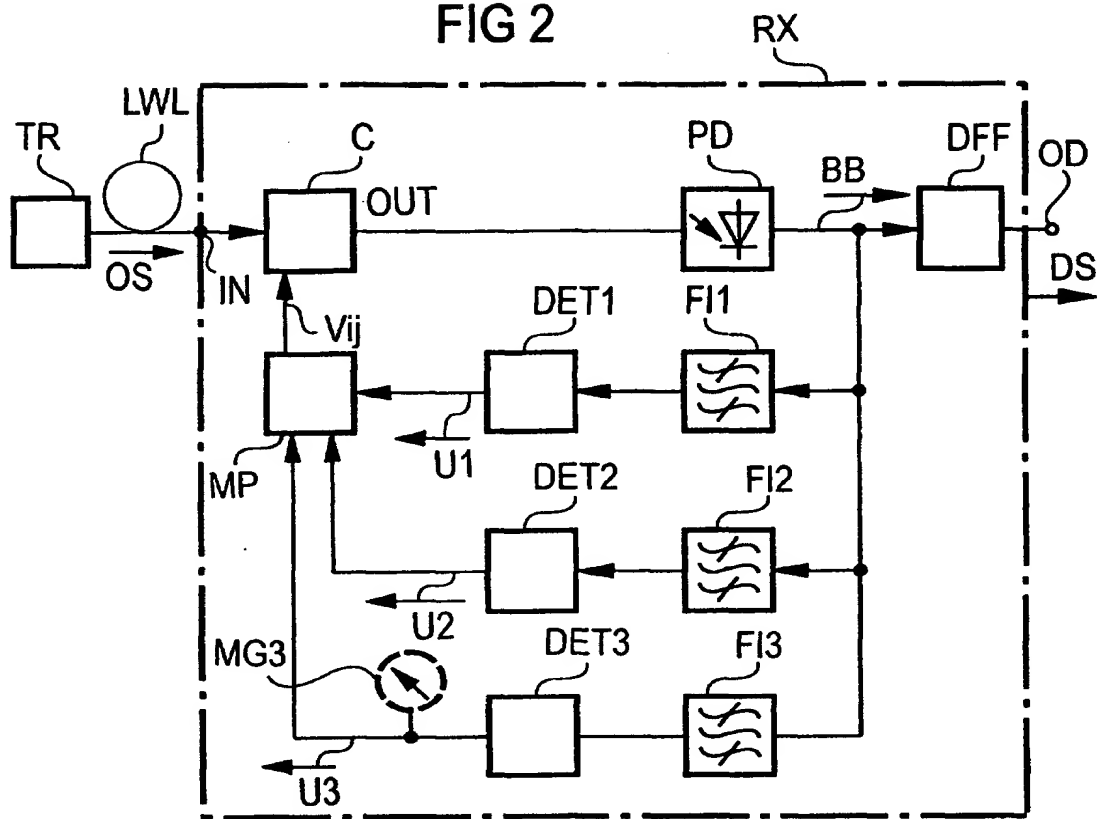


FIG 3

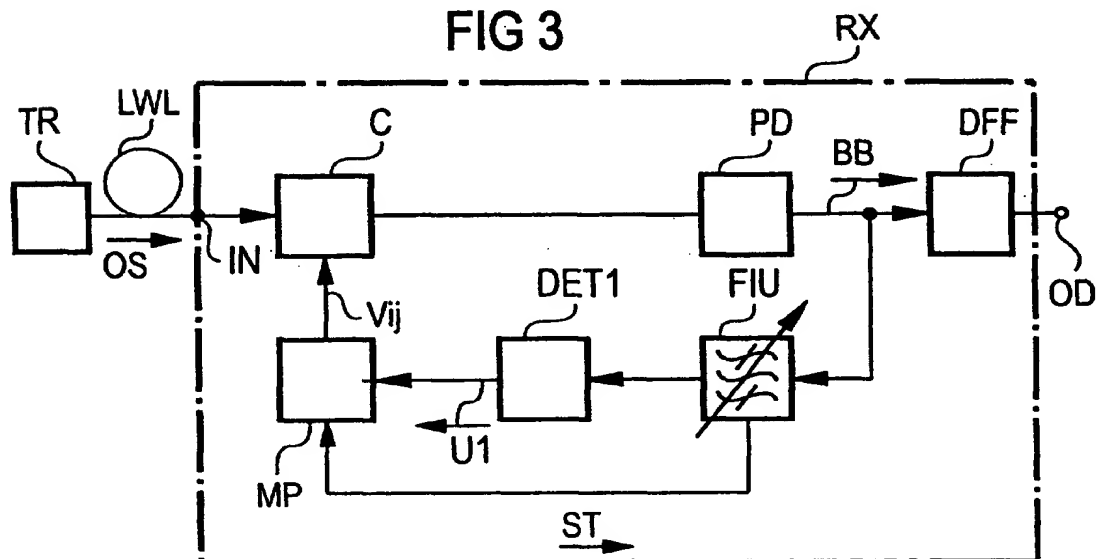


FIG 4

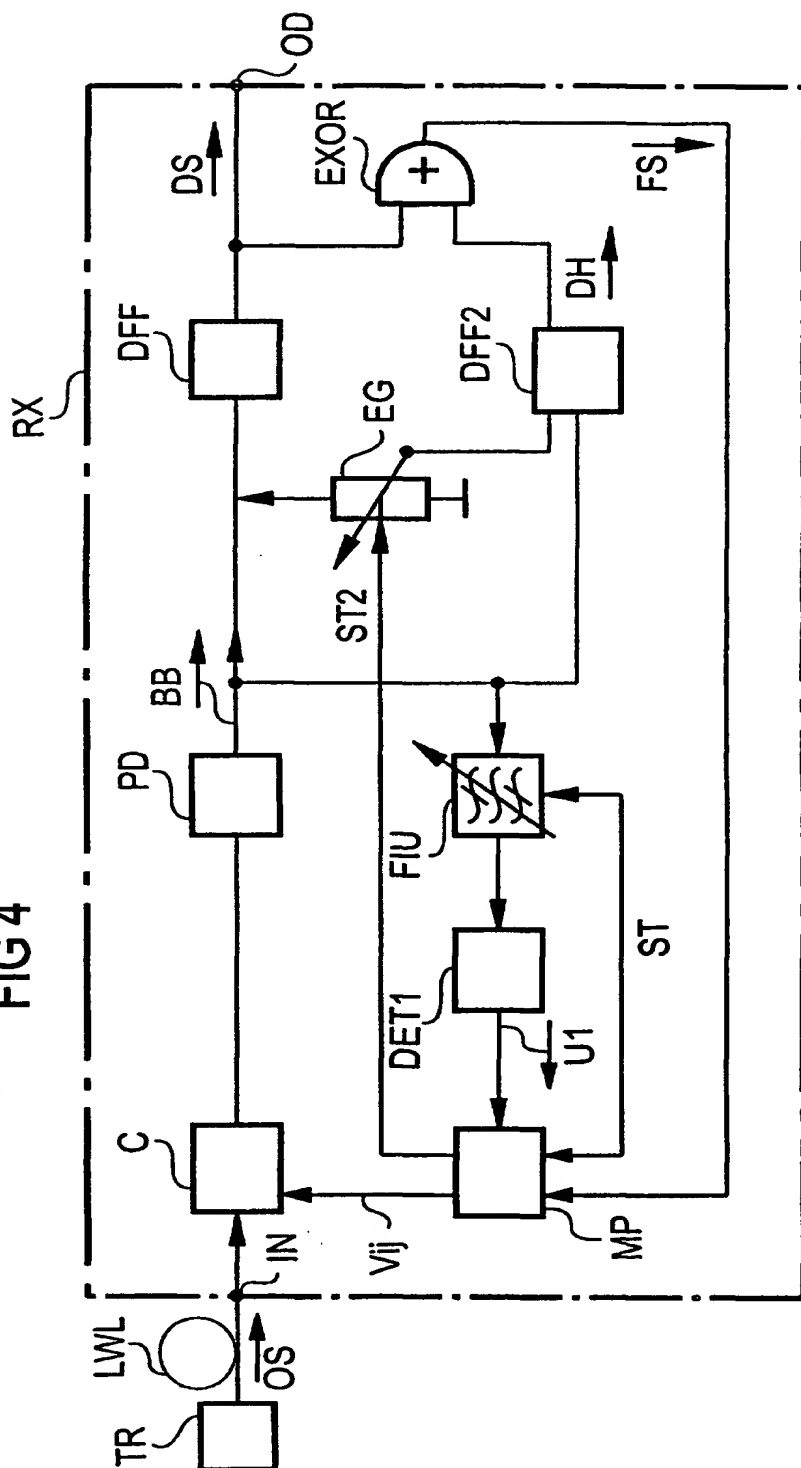


FIG 5

